

## WIRKUNG DER SPEKTRALZUSAMMENSETZUNG DES LICHTS AUF DIE GEWEBESTRUKTUR DER CAPSICUM-, FAGOPYRUM-, PHASEOLUS- UND VICIA-ARTEN

S. GULYÁS—E. TAKÁCS—I. ZALATNAI—I. DOBOS—I. HORVÁTH

*Botanisches Institut der Attila József Universität, Szeged*

(Eingegangen am 16. Oktober 1969)

### Einführung

Durch die Qualität, bzw. Spektralzusammensetzung des Lichts kann auf die Pflanzen eine beachtliche Wirkung ausgeübt werden. Auf Grund unserer früheren Untersuchungen (HORVÁTH, 1965) haben wir nachgewiesen, dass durch diesen Faktor eine grössere Wirkung erzielt werden könne als mit einem Licht identischer Spektralzusammensetzung aber verschiedener Energie, mit Rücksicht auf die Energie, die sich durch die photosynthetischen Pigmente absorbieren lässt.

Diese Wirkungen sind jedoch viel eher in Bezug auf den Stoffwechsel bekannt und besonders wenig wissen wir von der auf die Gewebestruktur ausgeübten Wirkung dieser Faktoren.

LJEMAN (1955) hat festgestellt, dass unter dem Einfluss das blaue Licht im Stengel der Tomate und der Bohne eine höhere Differenzierung der Leitungsbündel, eine kräftigere Entwicklung der Festigungszellen und eine grössere Breite des Cambiums bewirke.

JANKOVICH (1956) untersuchte in Pflanzen verschiedener Familien (*Cruciferae*, *Compositae*, *Papilionaceae*, *Labiatae*) die Wirkung der spektralen Energieverteilung des Lichts auf die Gewebestruktur des Stengels. Er fand den grössten Unterschied in der Grösse und Anzahl der Gefässbündel. Die stärkere Entwicklung der Leitungsgewebe ist auf Kosten des Markgewebes eingetreten. Er zieht im Gegensatz zu Ljeman die Schlussfolgerung, dass die Quantität der Leitungsgewebe und des mechanischen Systems vom roten zum blauen Wellenbereich abnehme.

ZAAR (1961) erforschte die auf die Meristeme ausgeübte Wirkung des Lichts verschiedener Spektralzusammensetzungen bei der Bohne. Er hat festgestellt, dass die Tätigkeit des Vegetationspunkts von den roten und infraroten Strahlen (nm 650—750) erhöht, von den Kurzwellenstrahlen (nm 450—480) hingegen gehemmt werde, ja diese das Meristem sogar vernichtet.

Auf Grund der Ergebnisse unserer auf Bohnen, Erbsen und Sojapflanzen durchgeführten Forschungen (HORVÁTH, 1965; HORVÁTH et al., 1966) haben auch wir einiges über die auf die Gewebestruktur des Stengels ausgeübte Wirkung der Spektralzusammensetzung des Lichts festgestellt. So haben wir nachgewiesen, dass die relative Menge des Holzteils und des mechanischen Systems unter dem Einfluss des blauen Lichts am grössten ist. Diese Änderung tritt auf Kosten des Markparenchyms ein.

Schon diesen wenigen Hinweisen ist zu entnehmen, dass die Ergebnisse zum Teil widerspruchsvoll sind. Es ist ferner noch nicht ganz geklärt, wie allgemeingültig der Zusammenhang zwischen der spektralen Energieverteilung und der Gewebestruktur der Pflanzen bei unseren *Angiospermen* ist.

Im Laufe der Untersuchung der Stengel- und Blattstruktur der Gattungen *Vicia*, *Phaseolus*, *Fagopyrum* und *Capsicum* wollten wir zunächst eine Antwort auf die Frage erhalten, welche Wirkung innerhalb eines Organs auf die Anteilquote der einzelnen Gewebegegenden vom Licht verschiedener Spektralzusammensetzung ausgeübt werde.

## Material und Methode

Unsere Forschungspflanzen (*Vicia faba* L., *Capsicum annuum* L. convar. *groszum*, provarietas *ovatum* conc. *hungaricum* TERPO c. v., *Phaseolus vulgaris* L., *Fagopyrum esculentum* MÖNCH.) wurden im Jahr 1967, im Botanischen Garten der Attila József Universität unter Freifeldumständen, in vier Wiederholungen gezüchtet. Das Licht verschiedener Spektralzusammensetzungen wurde durch eine farbige Folienbedeckung gesichert. Die 0,2 mm dicke Folien waren perforiert, um unter den Folien ein „Mikroklima“ zu schaffen, welches — mit Ausnahme des Lichtes — den Naturverhältnissen am nächsten steht. Die farbige Folienbedeckung hat auf die spektrale Energieverteilung des Lichtes einen bedeutenden Einfluss ausgeübt. (Tab. 1) und auch die Intensität der Beleuchtung verändert (Tab. 2). Dies wurde bei der Bewertung unserer Ergebnisse in Betracht genommen.

Tabelle 1

Varianten	Energieverteilung im Prozent der auf den Wellenbereich nm 400—700 entfallenden Energie					
	1	2	3	4	5	6
unbedeckte Kontrolle	14	25	23	7	10	15
farblos	14	24	28	8	11	19
gelb	10	22	26	9	12	21
blau	22	32	28	5	5	14
rot	11	14	11	4	14	46
grün	9	28	35	6	8	14

1 = violettfarbig nm 400—436; 2 = blau 436—495; 3 = grün 495—566; 4 = gelb 566—589; 5 = orangengelb 589—627; 6 = rot 627—700.

Der Boden des Versuchsgebiets war Schluffgartenton. Um die optimale Entwicklung der Pflanzen zu sichern, haben wir im Juli (ausser dem durch die perforierte Folie eingedungenen Regenwasser) wöchentlich zweimal auch eine Berieselung durchgeführt.

Das Einsammeln der für die histologischen Untersuchungen notwendigen Stengel- und Blatteile wurde gleichzeitig mit der Erscheinung der ersten Blüten ausgeführt. Die Muster der Stengelstücke wurden in den unteren Internodien von 5 bis 8 genommen. Die Blattmuster wurden bei *Capsicum* aus dem mittleren Drittel der in dem 7. Nodus, bei *Vicia* in dem 4. Nodus liegenden — vollentwickelten — Blättern genommen.

Nach Äthanolfixierung und Konservierung wurde der Versuchsstoff in Zelloidin eingebettet, bzw. aus den Blättern auch Epidermismazeration verfertigt. Die Schnitte sind mit Mikrotom verfertigt nach Reinigung mit Ehrlichs Eisenhämatoxylin progressiv gefärbt und in Kanadabalsam konserviert worden.



Tabelle 2

Varianten	Gesamtstrahlung in Prozent
unbedeckte Kontrolle	100
farblos	75
gelb	62
blau	38
rot	37
grün	32

Im Laufe unserer Untersuchungen haben wir folgende Gewebebegegenden studiert:  
in den Stengeln:

1. Epidermis + Rindenparenchym
2. Leitungsgewebesystem (Siebteil, Kambium, Holz)
3. Markparenchym
4. Markhöhle;

bei den Blättern:

1. obere Epidermis + Palisadenparenchym
2. untere Epidermis + Schwammparenchym
3. Anzahl der Stomata für 1 mm<sup>2</sup>
4. Anzahl der Epidermiszellen für 1 mm<sup>2</sup>.

Die Anteilquote der erwähnten Gewebebegegenden ist so bestimmt worden, dass die Stengel- und Blattquerschnitte aus dem Mikroskop projiziert und dann die zu untersuchenden Gewebebegegenden auf Pauspapier umgezeichnet wurden. Nach dem Gewicht der Pauspapierstücke, welche die Gewebebegegenden bedeuten, und des Pauspapiers bekannter Fläche, haben wir mit Berücksichtigung der Vergrößerung die Fläche und die Proportion der Gewebebegegenden berechnet. Für die einzelnen Arten und Varianten wurden je 50 Messungen vorgenommen.

## Besprechung und Bewertung der Ergebnisse

### Stengelstruktur (Tab. 3)

Die Abweichungen zwischen den Varianten hinsichtlich der primären Rindengröße (Rindenparenchyms) sind bei den Arten *Fagopyrum*, *Phaseolus* und *Vicia* von geringem Ausmass. Die Höchstabweichungen zwischen den beiden extremen Werten betragen 7%. Bei *Capsicum* sind die Unterschiede grösser, unter den roten Folien z. B. sind sie mehr als zweimal so gross, als bei der unbedeckten Kontrolle. Beim *Capsicum* wächst die Menge der primären Rinde in Richtung der längeren Wellenbreiten (Tab. 3).

Im Entwicklungsstand des Leitungsgewebesystems bei den untersuchten Arten kann eine 7–16%-ige Abweichung der Varianten beobachtet werden. Die Unterschiede sind je nach Arten und Varianten verschieden (Tafel I. 3–4 und Tafel II. 1–5). Das Leitungsgewebe ist am stärksten entwickelt bei *Capsicum* in den unbedeckten Kontrollparzellen, bei *Fagopyrum* unter den farblosen, und bei *Phaseolus* und *Vicia* unter den gelben Folien.

Innerhalb des Leitungsgewebesystems wurde die Grösse des Siebteiles bei *Capsicum* vom „roten“, bei *Phaseolus* vom „gelben Licht“ erhöht.

Es wird im allgemeinen diese Gewebebegegend vom „blauen Licht“ beschränkt. Die Wirkung der spektralen Energieverteilung auf das Siebgewebe war bei *Vicia* am kleinsten. Bei *Capsicum* übt die spektrale Zusammensetzung auf den Holzteil eine geringe Wirkung aus, die im allgemeinen mit der Ver-

grösserung der Wellenlänge abnimmt. Der Holzkörper der *Fagopyrum*- und *Phaseolus*stengel ist im „gelben Licht“ am grössten. Die Unterschiede zwischen den extremen Werten belaufen sich bis auf 20%. Es ist festzustellen, dass die Wirkung der Spektralzusammensetzung auf das Leitungsgewebesystem nicht allgemein, sondern je nach den Arten verschieden ist.

Tabelle 3. Die Veränderung des Prozentsatzes der im Stengel befindlichen Gewebegegenden als Funktion der Spektralzusammensetzung des Lichts.

Varianten	Arten	Epidermis	+ Leitungsgewebe		Markgewebe	Markhöhle
		Rinde	Siebteil	Holzteil		
unbedeckte Kontrolle	<i>Capsicum</i>	24	8	42	26	—
	<i>Fagopyrum</i>	13	23		44	20
	<i>Phaseolus</i>	20		39	28	—
	<i>Vicia</i>	30		19	35	—
farblos	<i>Capsicum</i>	42	8	37	13	—
	<i>Fagopyrum</i>	14		25	46	15
	<i>Phaseolus</i>	18	15	32	35	—
	<i>Vicia</i>	36	12	17	35	—
gelb	<i>Capsicum</i>	42	8	31	19	—
	<i>Fagopyrum</i>	11		17	32	40
	<i>Phaseolus</i>	20	16	52	12	—
	<i>Vicia</i>	31	13	23	32	—
blau	<i>Capsicum</i>	25	5	35	35	—
	<i>Fagopyrum</i>	13	19		36	32
	<i>Phaseolus</i>	19		33	37	—
	<i>Vicia</i>	30		15	40	—
rot	<i>Capsicum</i>	49	11	30	10	—
	<i>Fagopyrum</i>	14	21		45	20
	<i>Phaseolus</i>	18		36	34	—
	<i>Vicia</i>	36		19	31	—
grün	<i>Capsicum</i>	39	8	35	18	—
	<i>Fagopyrum</i>	11	16		36	37
	<i>Phaseolus</i>	13		26	49	—
	<i>Vicia</i>	36		20	28	—

Dies bezieht sich auch auf die Anteilquote des Markgewebes (Tafel. III. 1.—4).

Es kann jedoch ein Zusammenhang zwischen dem Leitungsgewebesystem und den Parenchymgeweben (Rindenparenchym und Markparenchym) beobachtet werden. Wo das Leitungsgewebesystem entwickelt ist, ist die Anteil-

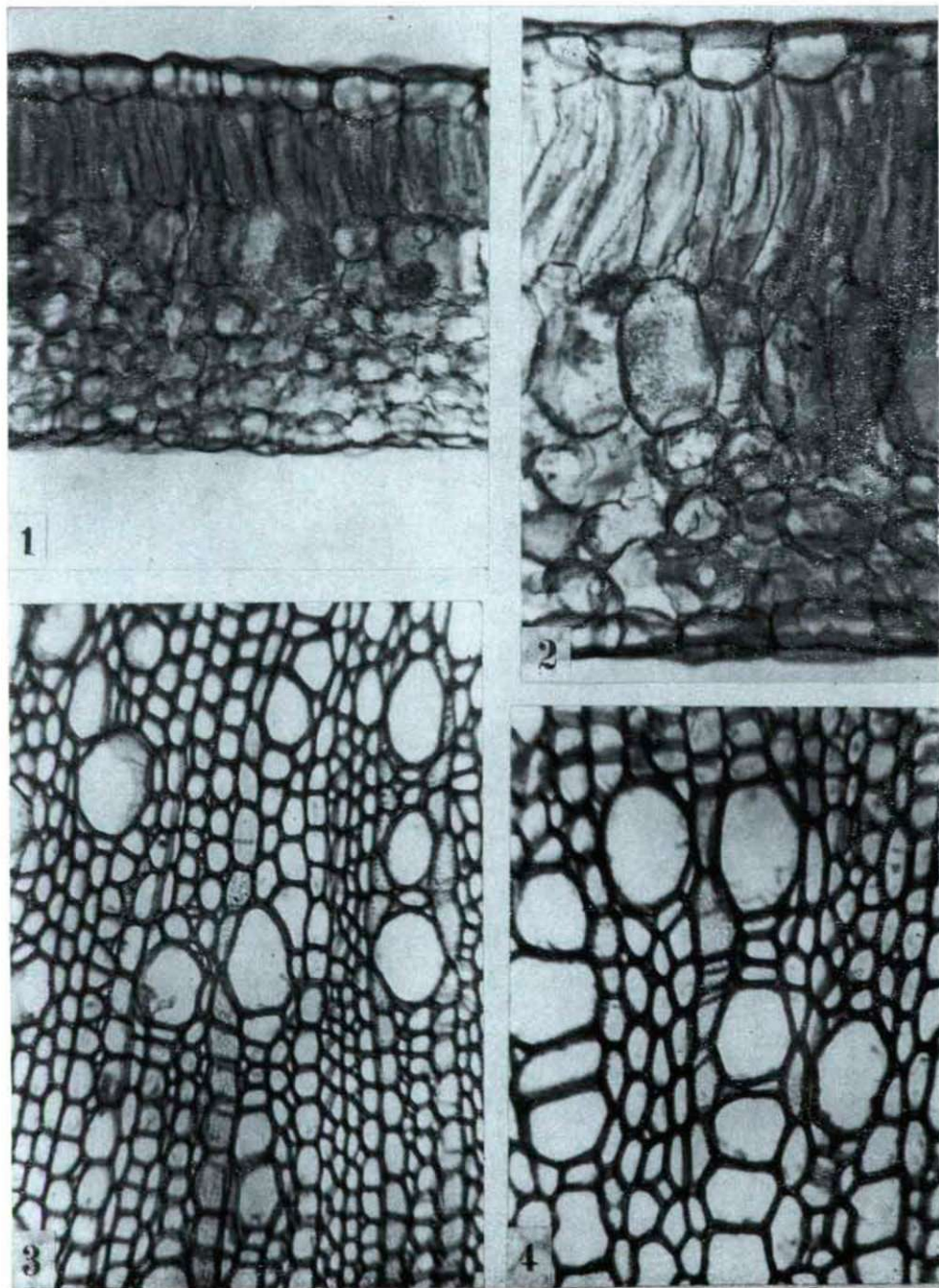
Tafel I. Abb. 1. *Capsicum* Blattquerschnitt, rote Variante,  $\times 200$ .

Abb. 2. *Capsicum* Blattquerschnitt, gelbe Variante,  $\times 200$ .

Abb. 3. *Capsicum* Holzteilquerschnitt. Kontrolle,  $\times 200$ .

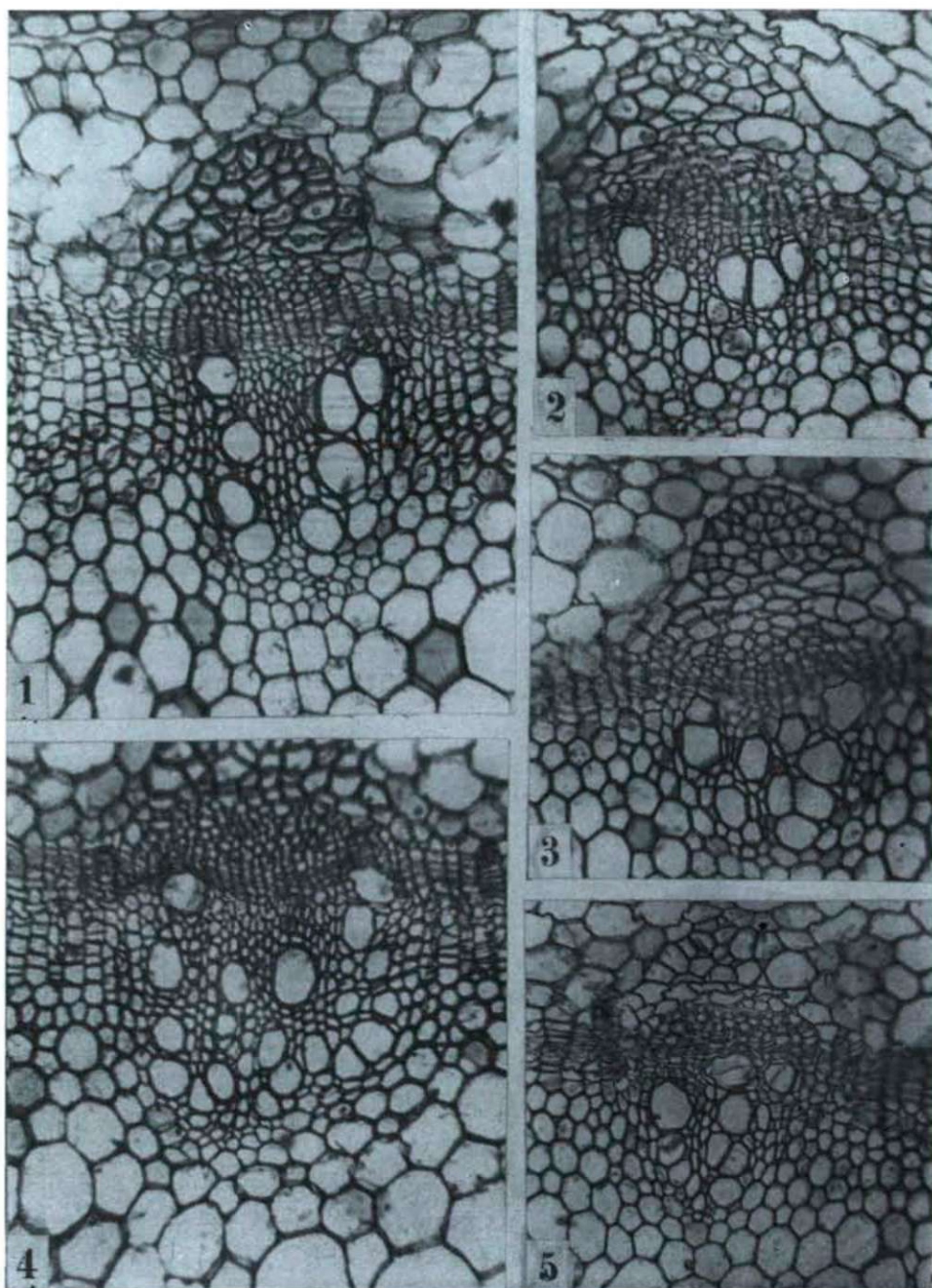
Abb. 4. *Capsicum* Holzteilquerschnitt. Rote Variante,  $\times 200$ .

TAFEL I





## TAFEL II



quote der Parenchymgewebe vermindert. Dies kann bei Vergleichung des Holzteils mit dem Markparenchym besonders deutlich beobachtet werden. Unsere früheren Untersuchungen werden dadurch bestätigt.

Es kann auch hinsichtlich in der Grösse der Markparenchymzellen ein bedeutender Unterschied beobachtet werden (Tafel. III. 1—4). So sind z. B. die Zellen des Markgewebes der in der unbedeckten Kontrollparzelle und im „gelben Licht“ gewachsenen Stengel gross, abgerundet, oft mit Interzellularen; das Markgewebe der im „grünen Licht“ gewachsenen Stengel wird hingegen aus kleineren, isodiametrischen dünnwandigen Zellen aufgebaut. Es gibt nur wenige Interzellularen.

Ein Unterschied lässt sich ausserdem im Verhältnis zwischen Markhöhle und Markparenchym beobachten. Bei *Fagopyrum*, wo dies untersucht wurde, ist im „gelben Licht“ die Markhöhle am grössten und das Markgewebe am kleinsten. Unter farblosen Folien ist aber die Lage umgekehrt. Der Unterschied betreffs der Markhöhle ist bei den zwei Varianten extremen Wertes beinahe dreifach. Daraus ist auch darauf zu schliessen, dass selbst die Tätigkeit des Markmeristems von der spektralen Energieverteilung des Lichtes beeinflusst wird.

Es mag sich die Frage stellen, ob die festgestellten Unterschiede mit der spektralen Energieverteilung des Lichtes in Zusammenhang gebracht werden können, da in unseren Freilandversuchen unsere Varianten sich voneinander nicht nur in der spektralen Energieverteilung, sondern auch in der Stärke der Beleuchtung unterschieden. Es kann festgestellt werden (Tabelle 3), dass zwischen dem Verhältnis der Veränderungen und der abnehmenden Reihe der Beleuchtungsstärke (Tabelle 2) im allgemeinen keine Parallele beobachtet werden kann. Zwischen den Wirkungen der blauen und roten Folien — die praktisch ein identisches Energieniveau bedeuten — gibt es wesentliche Unterschiede. Z. B. beträgt bei *Capsicum* die Anteilquote der Epidermis + Rindenparenchyms in „blauem Licht“ 25%, unter roten Folien 49%. Die Quote des Markparenchyms bei derselben Pflanze beträgt unter den blauen Folien 35, unter den roten 10%. Demzufolge sind die Veränderungen eher mit der spektralen Energieverteilung in Zusammenhang zu bringen und ist die Wirkung der Beleuchtungsstärke von kleinerer Bedeutung. Es würde jedoch nur die auf einem identischen Energieniveau ausgeführten Untersuchungen einen entscheidenden Beweis bedeuten, die aber unter Freibodenkultur kaum durchführbar sind.

## Blattstruktur

Bei den *Capsicum*- und *Vicia*-Arten (Tabelle 5) wurde die Anzahl der auf der Oberseite und der Unterseite des Blattes befindlichen und auf die Flächeneinheit fallenden Epidermiszellen durch die Bedeckung mit farbigen Folien im allgemeinen vermindert. Das Mass der Verminderung ist in der Oberepidermis grösser und bei *Capsicum* betrug es sogar die 50%.

Tafel II. Abb. 1. Gefässbündel des Stengelquerschnitts von *Vicia*. Kontrolle, x 200.

Abb. 2. Gefässbündel des Stengelquerschnitts von *Vicia*. Farblose Variante, x 200.

Abb. 3. Gefässbündel des Stengelquerschnitts von *Vicia*. Blaue Variante, x 200.

Abb. 4. *Vicia* Stengelquerschnitt. Gelbe Variante, x 200.

Abb. 5. Gefässbündel des Stengelquerschnitts von *Vicia*. Grüne Variante, x 200.



Bei *Vicia* gibt es mehr Zellen pro Flächeneinheit auf der Unterseite, bei *Capsicum* auf der Oberseite des Blattes. Auch diese „vererbliche“ Arteneigenheit wurde von der spektralen Energieverteilung beeinflusst.

Auch die Anzahl der Stomata pro Flächeneinheit wurde durch die Bedeckung mit farbigen Folien vermindert. Auch diese Wirkung ist bei *Capsicum* stärker, besonders auf der Oberepidermis. Es ist zu erwähnen, dass die Wirkung des „blauen Lichts“ auf die Epidermen der zwei Arten gegensätzlich ist (bei *Capsicum* ist z. B. die Zahl der Stomata auf der Unterepidermis im „blauen Licht“ am kleinsten, bei *Vicia* jedoch ist sie den bedeckten Varianten hier am grössten).

Das Blattmesophyll ist bei beiden Arten bifaziell heterogen. Oben liegt ein Palisadenparenchym bestehend aus einer Zellschicht, unten ein Schwammparenchym von mehreren Zellenreihen. Die unter dem Einfluss der Spektralzusammensetzung des Lichts eingetretene Veränderung der Anteilquote des Palisaden- und Schwammparenchyms auf Tabelle 4 veranschaulicht, der zu entnehmen ist, dass in den unter den Folien gewachsenen Blättern die Palisadenparenchymschicht im Vergleich zu den Kontrollblättern dicker, das Schwammparenchym aber dünner wurde. Das Ausmass des Unterschieds scheint aber nicht bedeutend zu sein.

Die Vergrösserung der Schichtdicke des Palisadenparenchyms lässt sich auf die Verlängerung der Zellen zurückführen (Tafel I. 1–2). Diese Schicht ist aber auf den bedeckten Parzellen im Vergleich zur Kontrolle lockerer, enthält mehr interzelluläre Substanz.

Tabelle 4. Veränderung der prozentualen Anteilquote der Blattgewebebegegenden als Funktion der Spektralzusammensetzung des Lichts.

Varianten	Arten	Oberepidermis + Palisaden- parenchym	Unterepidermis + Schwamm- parenchym
unbedeckte Kontrolle	<i>Capsicum</i>	42	58
	<i>Vicia</i>	40	60
farblos	<i>Capsicum</i>	42	58
	<i>Vicia</i>	48	52
gelb	<i>Capsicum</i>	49	51
	<i>Vicia</i>	43	57
blau	<i>Capsicum</i>	46	54
	<i>Vicia</i>	46	54
rot	<i>Capsicum</i>	42	58
	<i>Vicia</i>	41	59
grün	<i>Capsicum</i>	48	52
	<i>Vicia</i>	44	56

Tafel III. Abb. 1. *Capsicum* Markparenchyms. Kontrolle,  $\times 200$ .

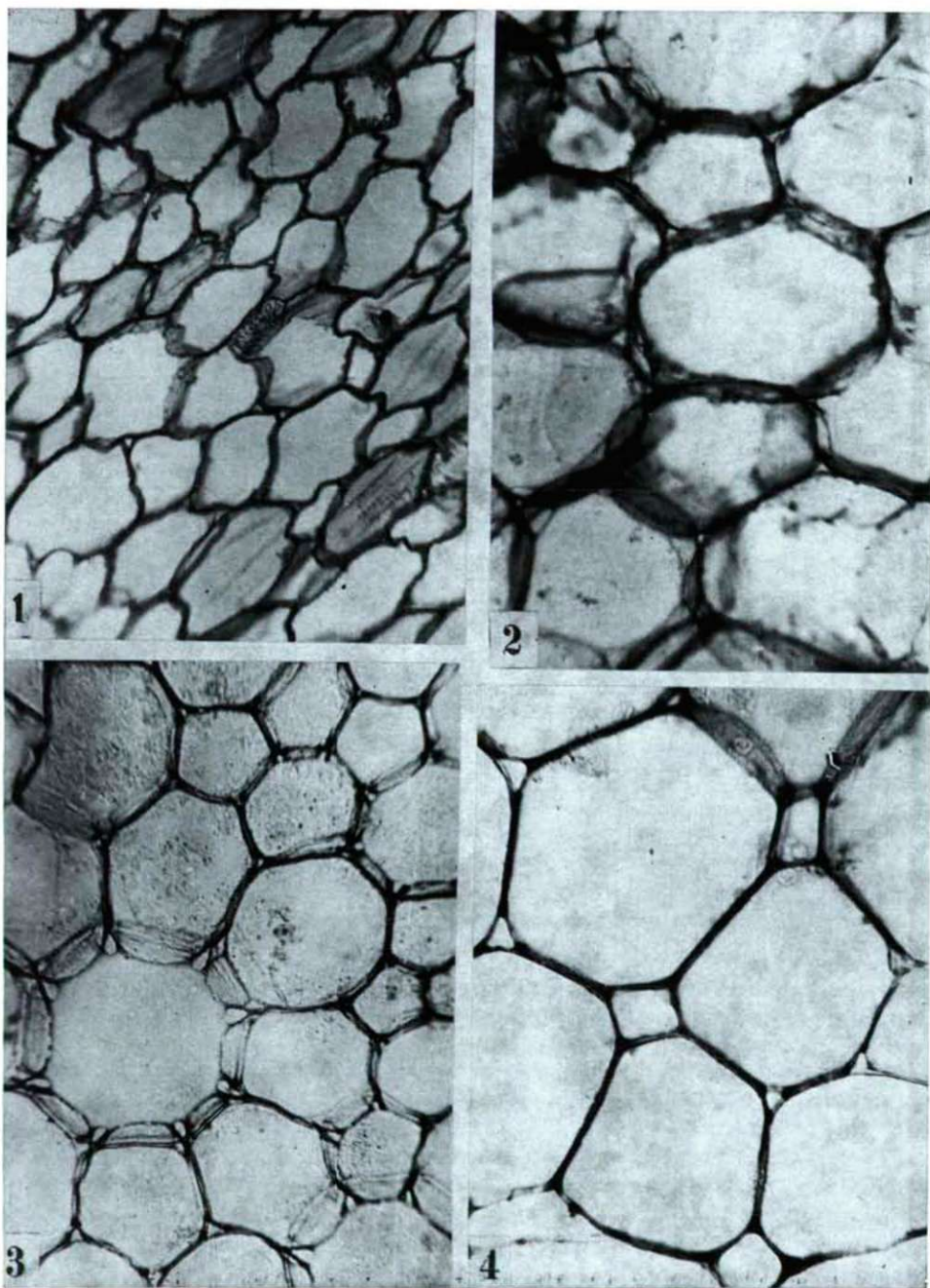
Abb. 2. *Capsicum* Markparenchym. Rote Variante,  $\times 200$ .

Abb. 3. *Phaseolus* Markparenchym. Grüne Variante,  $\times 250$ .

Abb. 4. *Phaseolus* Markparenchym. Farblose Variante,  $\times 250$ .



TAFEL III



Es ist festzustellen, dass, ähnlich wie im Fall des Stengels, die Spektralzusammensetzung des Lichts auch auf die Gewebestruktur der Blätter wirkt, und zwar zunächst auf die Epidermis. Besonders die auf die Anzahl der stomata ausgeübte Wirkung scheint dem Gaswechsel zufolge wichtig zu sein.

Die Abnahme der Zahl der Stomata zeigt einen Zusammenhang auch mit der Verminderung der Beleuchtungsstärke und auch die Spektralzusammensetzung des Lichts scheint eine bedeutende Wirkung auszuüben. Dies wird auch vom Unterschied zwischen den blauen und roten Folien gut gezeigt (Tabelle 5).

Aus unseren Untersuchungen kann auch festgestellt werden, dass der Lichtfaktor auf die Gewebestruktur des Stengels eine Wirkung grösseren Masses ausübt als auf das Blatt.

Tabelle 5. Wirkung der Spektralzusammensetzung des Lichts auf die Zahl der Epidermiszellen und Stomata der Oberseite und der Unterseite (auf 1 mm<sup>2</sup>)

Varianten	Arten	Anzahl der Stomata		Anzahl der Epidermiszellen	
		Ober-	Unter-	Ober-	Unter-
seite					
unbedeckte Kontrolle	<i>Capsicum</i>	36	109	400	420
	<i>Vicia</i>	28	37	133	105
farblos	<i>Capsicum</i>	12	85	275	310
	<i>Vicia</i>	24	26	114	87
gelb	<i>Capsicum</i>	28	74	330	302
	<i>Vicia</i>	18	28	106	92
blau	<i>Capsicum</i>	27	36	308	300
	<i>Vicia</i>	23	32	105	112
rot	<i>Capsicum</i>	10	65	210	250
	<i>Vicia</i>	22	26	97	85
grün	<i>Capsicum</i>	22	45	208	230
	<i>Vicia</i>	21	23	100	78

### Zusammenfassung

In Freiboden versuchen wurde unter farbigen Kunststoff-Folien die Wirkung des spektralen Energieverteilung des Lichts auf die Gewebestruktur der Stengel und Blätter von *Capsicum*, *Fagopyrum*, *Phaseolus* und *Vicia* untersucht.

Es lässt sich feststellen:

1. Die Spektralzusammensetzung des Lichtes übte eine Wirkung auf die Gewebestruktur des Stengels aus, das Ausmass der Wirkung ist aber je nach den Arten verschieden.
  - 1.1. Auf die Parenchymgewebe wird eine grössere Wirkung ausgeübt als die auf die Leitungsgewebe.
  - 1.2. Zwischen den Mengen des Rinden- und des Markparenchyms besteht ein enger Zusammenhang: die Vergrösserung des einen zieht die Verminderung des anderen nach sich. Der Gesamtparenchymgehalt der Stengel verändert sich also weniger.



- 1.3. Innerhalb des Leitungsgewebesystems ist die Wirkung auf den Holzteil grösser als auf den Siebteil.
- 1.4. Die Anteilquote des Holzteils vergrößert sich im allgemeinen auf Kosten des Markparenchyms.
2. Von den Blattgeweben wird zunächst die Epidermis von der Spektralzusammensetzung des Lichtes beeinflusst.
  - 2.1. Die Anzahl der Epidermiszellen und Stomata nimmt ab.
  - 2.2. Die Zellen des Palisandenparenchyms sind stärker verlängert.
3. Auf die Gewebestruktur des Stengels wird eine grössere Wirkung ausgeübt als auf das Blatt.

### Schrifttum

- HORVÁTH, I. (1965): A fény színképi összetételének növényökológiai szerepe (Die pflanzenökologische Rolle der Spektralzusammensetzung des Lichts. — Gödöllő. (Dokt. Diss.)
- HORVÁTH, I.—GULYÁS, S.—LÁSZLÓ, G. (1966): A fény színképi összetételének hatása a *Phaseolus vulgaris* és *Glycine soja* szárának szöveti szerkezetére (Die Wirkung der Spektralzusammensetzung des Lichts auf die Gewebestruktur des Stengels von *Phaseolus vulgaris* und *Glycine soja*). — (II. Magyar Növényanatómiai Szimpózium). Budapest.
- JANKOVICH, V. (1956): Utizaj vostazko Ipetleski na porast i anatomija nekih biljaha. — Arch. Poljopriv Nauke 9, 65—75.
- LJEMANN, V. M. (1955): Lumineszentnue lampu kak istotschnik radiazii dlja kulturni rastenij v sakriton, gruntje. — Tr. In-ta. Fisiol. Rast. im K. A. Timirjasewa 10, 45—59.
- ZAAR, E. I. (1961): Vlijanie proharzhditelnosti sweschtschenija i spektralnogo sostawa na regeneratiwnuju aktiwnost meristemu totschki rostaw pobeg. — Bot. Journ. 46, 557—560.

Anschrift der Verfasser:

Dr. S. GULYÁS

EDIT TAKÁCS

IRÉN ZALATNAI

ILONA DOBOS

Prof. Dr. I. HORVÁTH

Botanisches Institut der A. J.  
Universität, Szeged, Ungarn